DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA INTELIGENTE DE DETECÇÃO DE QUEDAS PARA IDOSOS

Elias Alves Dos Santos Junior, João Paulo Bombachi Lacerda, Luis Henrique Souza Dos Santos, Thais Siqueira Vasconcelos.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), Campus São José dos Campos, São José dos Campos – SP, Brasil. E-mail: elias.alves@aluno.ifsp.edu.br, henrique.luis2@aluno.ifsp.edu.br, thais.siqueira@aluno.ifsp.edu.br, bombachi.j@aluno.ifsp.edu.br.

Resumo
O envelhecimento populacional eleva os riscos de acidentes domésticos, tornando as quedas um grave problema de saúde. Este trabalho, categorizado como Resultado de Projeto, tem como objetivo desenvolver um protótipo vestível de baixo custo para a detecção automática de quedas em idosos, visando reduzir o tempo de socorro. A metodologia baseia-se na integração do microcontrolador ESP32-C3 a um acelerômetro triaxial MMA845X, alimentados por bateria Li-Po. O algoritmo processa a magnitude do vetor de aceleração em tempo real para diferenciar atividades rotineiras de impactos reais, contando também com dois botões, um para acionamento de emergência manual e outro para cancelamento de falsos alarmes. Os resultados demonstram a correta comunicação I2C entre os módulos, a validação precisa da lógica mecânica de impacto e o sucesso no envio automatizado de alertas remotos via rede Wi-Fi utilizando um bot do Telegram. Conclui-se que o protótipo configura uma tecnologia assistiva funcional e acessível, capaz de aumentar a segurança domiciliar e garantir um atendimento emergencial ágil.
Palavras-chave: Gerontotecnologia. Internet das Coisas. Detecção de Quedas. Tecnologias Assistivas.
Área do Conhecimento: Engenharia Elétrica / Automação e Controle / Sistemas Embarcados.

Introdução

O envelhecimento da população brasileira e mundial tem ampliado a demanda por soluções tecnológicas voltadas à promoção da saúde e da segurança da população idosa. Entre os principais desafios enfrentados por essa parcela da sociedade, as quedas destacam-se como um dos eventos adversos mais frequentes e relevantes para a saúde pública. Estudos apontam que aproximadamente um terço dos indivíduos com 65 anos ou mais sofre pelo menos uma queda por ano, percentual que aumenta conforme o avanço da idade e a presença de fatores de risco associados (MREJEN; NUNES; GIACOMIN, 2023; MARQUES et al., 2022). Para os idosos que residem sozinhos, o ambiente doméstico representa um cenário de maior vulnerabilidade, uma vez que a dificuldade em solicitar auxílio após o impacto e o isolamento social podem prolongar o tempo de atendimento e agravar as consequências do acidente (SILVA et al., 2024).

A permanência prolongada da vítima no solo possui uma correlação direta com o agravamento sistêmico de quadros clínicos, incluindo desidratação, hipotermia e complicações infecciosas pulmonares decorrentes da imobilidade, além de gerar o impacto psicológico do "medo de cair", que restringe a autonomia e a qualidade de vida (Marques *et al*., 2022). Diante deste cenário, a aplicação de conceitos de Internet das Coisas (IoT) e gerontotecnologia surge como uma alternativa eficiente para converter a vigilância puramente reativa em um monitoramento ativo. Considerando que soluções comerciais costumam apresentar custos elevados, a utilização de hardwares acessíveis, como acelerômetros microeletromecânicos (MEMS) integrados a microcontroladores com comunicação sem fio, viabiliza a criação de tecnologias assistivas de proteção contínua para mitigar esses danos.

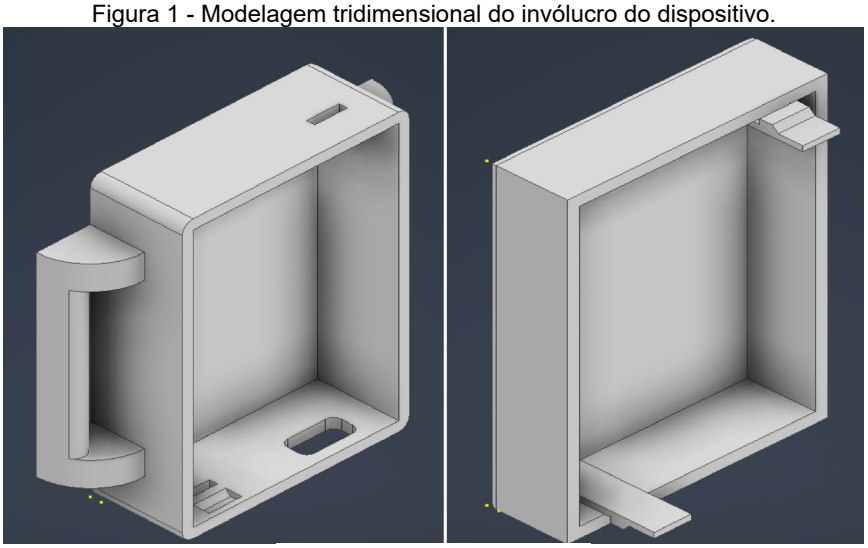
Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho é desenvolver um protótipo funcional de tecnologia assistiva vestível e de baixo custo, focado na detecção automática de quedas em idosos. O projeto integra a capacidade de processamento em borda do microcontrolador ESP32-C3 ao sensoriamento do acelerômetro triaxial MMA845X para o cálculo contínuo da magnitude de aceleração, diferenciando impactos mecânicos severos de atividades cotidianas. O sistema visa reduzir o tempo de socorro por meio da emissão de alertas sonoros locais e do envio de notificações remotas via rede

Wi-Fi utilizando um bot do Telegram, contando ainda com dois botões táteis, um para acionamento manual de emergência e outro para cancelamento de falsos alarmes.

Metodologia

O projeto foi classificado metodologicamente como uma pesquisa aplicada de desenvolvimento tecnológico, estruturada a partir da integração de componentes eletrônicos de baixo custo. O hardware central baseia-se no microcontrolador ESP32-C3 Super Mini (arquitetura RISC-V de 32 bits), responsável pelo processamento lógico e conectividade sem fio. Para a captação contínua dos dados cinemáticos, utilizou-se o acelerômetro digital triaxial MMA845X, configurado para comunicação via barramento I2C. A interface de saída foi estruturada com um transdutor piezoelétrico (buzzer) para alertas sonoros locais. Para assegurar a portabilidade do dispositivo vestível, o sistema foi alimentado por uma bateria de Polímero de Lítio (Li-Po 3.7V), cujo ciclo de recarga e proteção contra curtos-circuitos são gerenciados pelo circuito integrado TP4056. O encapsulamento físico do protótipo foi modelado tridimensionalmente utilizando o software Autodesk Inventor (Figura 1), desenhado com espessura de parede estrutural de 2 mm, travas de pressão para a tampa e furos para a passagem da porta USB-C, botões e janelas acústicas.

Figura 1 - Modelagem tridimensional do invólucro do dispositivo.



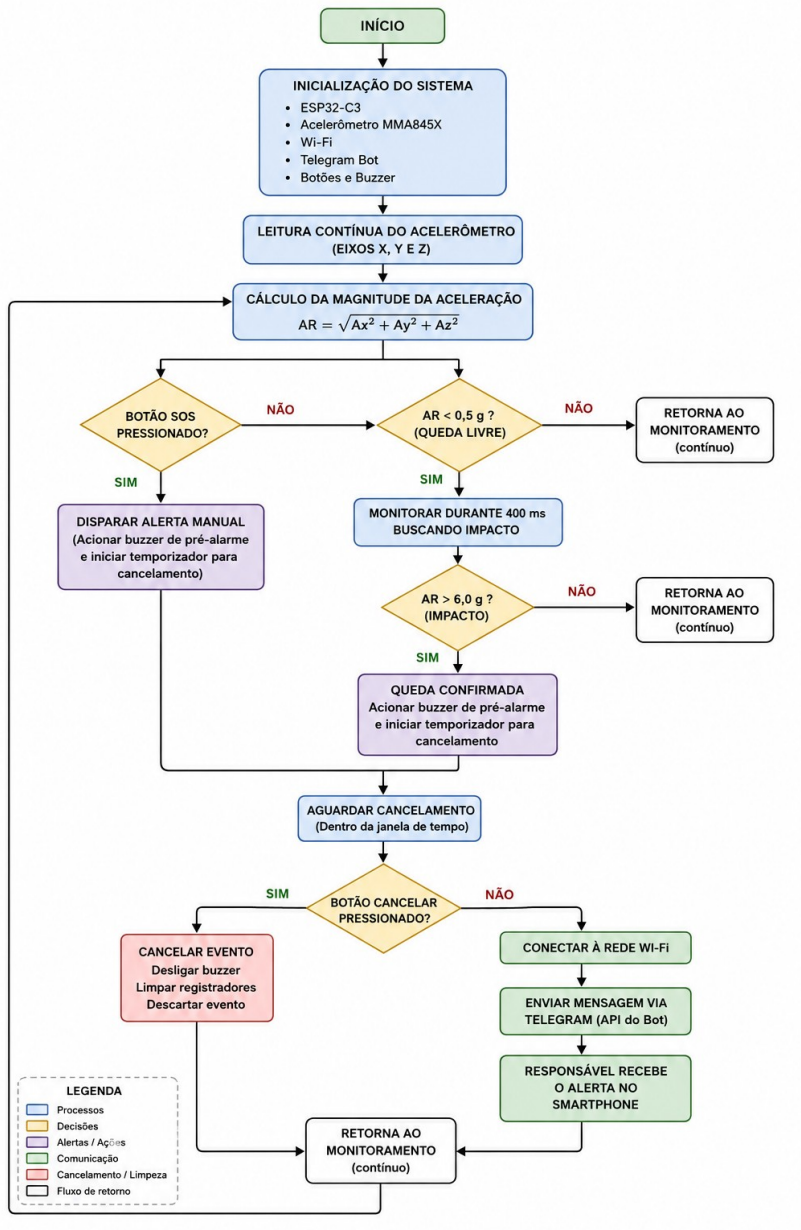
Fonte: Autoria própria (2026).

O desenvolvimento do software (firmware) foi realizado em linguagem C++ através do Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) do Arduino. O algoritmo opera realizando a leitura contínua das acelerações nos eixos ortogonais X, Y e Z. Para tornar a detecção independente da orientação espacial do dispositivo no corpo do usuário, implementou-se o cálculo da magnitude do vetor de aceleração resultante, regido pela equação: $A_R=\sqrt{A_X^2+A_Y^2+A_Z^2}$. A lógica de detecção de quedas foi estruturada como uma máquina de estados finitos que busca duas assinaturas físicas sequenciais: inicialmente, um decréscimo abrupto da magnitude indicando queda livre (limiar inferior calibrado em $A_R<0{,}5g$), seguido por um pico crítico de desaceleração que caracteriza o impacto mecânico (limiar superior calibrado em $A_R>6{,}0g$).

Visando a mitigação de falsos positivos gerados por atividades bruscas da vida diária, incorporaram-se dois botões táteis, um para acionamento manual de emergência e outro para cancelamento de falsos alarmes, conectados a pinos de interrupção de hardware. Ao detectar a assinatura de impacto, o sistema emite um alerta sonoro de pré-alarme e inicia uma janela temporal (temporizador). Caso o usuário pressione o botão de cancelamento rapidamente neste intervalo, o evento é cancelado e os registradores são limpos. Se não houver o cancelamento, ou se o botão de emergência for pressionado

intencionalmente, o sistema evoca a pilha de protocolos TCP/IP da rede Wi-Fi nativa do ESP32-C3. A comunicação de emergência remota foi implementada utilizando as bibliotecas *UniversalTelegramBot* e *ArduinoJson*, permitindo que o microcontrolador realize requisições seguras à API de Bots do Telegram. Dessa forma, o dispositivo envia mensagens de alerta instantâneas diretamente para o smartphone (via *Chat ID*) dos responsáveis previamente cadastrados, consolidando o monitoramento e a validação experimental do sistema, cujo fluxo lógico operacional está sintetizado na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma do Funcionamento.

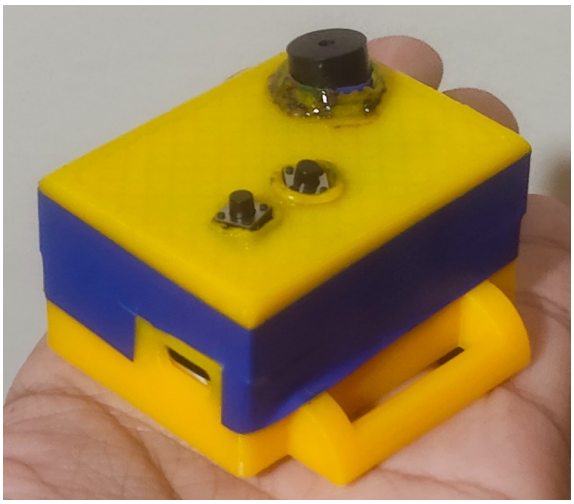


Fonte: Autoria própria (2026).

Resultados

Os testes práticos em ambiente de bancada demonstraram a viabilidade técnica e a estabilidade da arquitetura eletrônica desenvolvida. O microcontrolador ESP32-C3 obteve sucesso na leitura contínua dos registradores do acelerômetro MMA845X via barramento I2C, processando a magnitude do vetor de aceleração resultante (A_R) sem apresentar gargalos de processamento que comprometessem a memória dinâmica do sistema. A integração dos componentes no encapsulamento modelado tridimensionalmente garantiu a fixação adequada do hardware, permitindo a portabilidade necessária para o uso vestível, conforme apresentado na figura 3.

Figura 3 - Protótipo final montado com seus respectivos componentes eletrônicos.



Fonte: Autoria própria (2026).

Para a validação do algoritmo, foram simulados diferentes cenários biomecânicos para verificar a transição dos estados lógicos do dispositivo. Durante a simulação de atividades da vida diária (AVDs), como caminhar ou sentar-se, a magnitude da aceleração manteve-se predominantemente em torno de 1,0g, sem atingir a assinatura sequencial crítica exigida pelo algoritmo. Ao simular o evento de queda, o sistema reconheceu precisamente a fase de queda livre (limiar inferior a 0,5g) seguida pelo pico de impacto mecânico (limiar superior a 6,0g). A Tabela 1 sintetiza o comportamento do sistema frente aos cenários testados.

Tabela 1 - Resultados das simulações funcionais do protótipo.

Cenário Simulado	**Aceleração Resultante (A_R)**	**Resposta Imediata do Sistema**	**Resultado Final**
Movimentação normal (caminhar)	~1,0 g a 1,5 g	Monitoramento ativo	Nenhum alerta (Correto)
Impacto isolado (ex.: sentar bruscamente)	Picos > 2,5 g (sem queda livre)	Monitoramento ativo	Nenhum alerta (Correto)
Queda + acionamento do botão	<0,5 g seguido de >6,0 g	Buzzer acionado (pré-alarme)	Alerta cancelado (Correto)
Queda (sem resposta do usuário)	<0,5 g seguido de >6,0 g	Buzzer + temporizador expirado	Envio via Telegram (Correto)

Fonte: Autoria própria (2026).

No que tange à conectividade, a rotina de interrupção operou conforme projetado. Quando o botão de dupla função não foi pressionado dentro da janela de pré-alarme, o ESP32-C3 conectou-se de forma estável à rede Wi-Fi e utilizou a API do *Telegram Bot* para disparar o alerta de emergência. A mensagem foi entregue com sucesso ao *smartphone* cadastrado, apresentando latência mínima, essencial para caracterizar o dispositivo como uma resposta tecnológica em tempo real.

Discussão

A análise dos resultados evidencia que o protótipo cumpre satisfatoriamente o propósito de atuar como uma gerontotecnologia de monitoramento ativo. O uso integrado de Internet das Coisas (IoT) com componentes de baixo custo corrobora os achados de Silva *et al*. (2024), que destacam a eficiência dos dispositivos vestíveis em promover camadas complementares de segurança na mitigação dos riscos de quedas. Ao transferir a responsabilidade da interface gráfica e do servidor *push* para o aplicativo Telegram, o projeto supera barreiras de custos com infraestrutura em nuvem, garantindo a sustentabilidade operacional da solução.

A eficácia na emissão instantânea do alerta atua diretamente na redução do tempo de permanência do idoso no solo após uma queda. Conforme discutido por Marques et al. (2022), a demora no atendimento pode agravar significativamente o quadro clínico da vítima, favorecendo complicações decorrentes da imobilização prolongada e reduzindo as chances de uma recuperação satisfatória. Nesse contexto, o mecanismo de notificação automatizada aliado ao acionamento manual de emergência transforma o dispositivo em uma importante ferramenta de resposta rápida, contribuindo para a diminuição dos riscos associados às quedas.

Contudo, a partir de uma análise crítica das limitações biomecânicas inerentes ao projeto, observa-se que o algoritmo de detecção pode apresentar restrições frente a comportamentos humanos não intencionais. Reações instintivas, como a tentativa do idoso de se apoiar em móveis durante um desequilíbrio, podem atenuar substancialmente a aceleração da queda livre, mascarando a leitura do limiar inferior (< 0,5g) e resultando em falsos negativos. Por outro lado, o uso de dois botões táteis, um para acionamento manual de emergência e outro para cancelamento de falsos alarmes, mostrou-se uma solução de engenharia eficiente para a contenção de falsos positivos (como impactos bruscos gerados por manuseios intempestivos do vestível), transferindo ao usuário consciente o poder de cancelar alertas desnecessários e otimizando a confiabilidade geral do sistema perante os familiares.

Conclusão

O desenvolvimento deste projeto alcançou com êxito os objetivos propostos ao entregar um protótipo funcional, acessível e de baixo custo para a detecção automática de quedas em idosos. A integração do microcontrolador ESP32-C3 com o acelerômetro MMA845X demonstrou alta eficiência no processamento analítico da magnitude da aceleração em tempo real. Os testes validaram a capacidade do algoritmo em distinguir atividades cotidianas de impactos severos, enquanto o uso de dois botões táteis, provou ser um mecanismo de contenção eficaz para mitigar falsos alarmes. Adicionalmente, a comunicação operou com estabilidade, garantindo o envio imediato e seguro das notificações de socorro aos responsáveis por meio da integração com o aplicativo Telegram.

A principal contribuição deste trabalho consiste na proposição de uma gerontotecnologia viável que transforma a vigilância puramente reativa em um monitoramento ativo e contínuo. Ao minimizar o intervalo de tempo entre a ocorrência do acidente doméstico e a prestação do socorro, o dispositivo atua diretamente na prevenção de sequelas sistêmicas e psicológicas graves associadas à permanência prolongada no solo. Como trabalhos futuros, sugere-se a realização de ensaios práticos mais abrangentes para o refinamento estatístico dos limiares biomecânicos, além da implementação de rotinas de economia de energia via software para maximizar a autonomia elétrica da bateria no uso diário.

Referências

ESPRESSIF SYSTEMS. *ESP32-C3 Series Datasheet*. Versão 1.0. Shanghai: Espressif Systems, 2021.Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3_datasheet_en.pdf. Acesso em: 20 abr. 2026.

MREJEN, Matías; NUNES, Letícia; GIACOMIN, Karla. **Envelhecimento populacional e saúde dos idosos: o Brasil está preparado?** Estudo Institucional n. 10. São Paulo: Instituto de Estudos para Políticas de Saúde (IEPS), 2023. Disponível em: https://ieps.org.br/wp-content/uploads/2023/01/Estudo_Institucional_IEPS_10.pdf. Acesso em: 6 mai. 2026

MARQUES, M. A. *et al*. Protótipo de aparelho para detecção de quedas em idosos. **Revista Kairós-Gerontologia**, São Paulo, v. 25, 2022. Disponível em: https://revistas.pucsp.br/index.php/kairos/article/view/57147. Acesso em: 1 jul. 2026.

NXP SEMICONDUCTORS. ***MMA8451Q: 3-Axis, 14-bit Digital Accelerometer Technical Manual*. Eindhoven: NXP Semiconductors**, 2016. Disponível em: https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MMA8451Q.pdf. Acesso em: 2 jul. 2026.

SILVA, M. A. *et al*. Gerontecnologias e internet das coisas para prevenção de quedas em idosos: revisão integrativa. **Acta Paulista de Enfermagem**, São Paulo, v. 37, 2024. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ape/a/MprVWnFYjfCnykBQNKTRhRR/. Acesso em: 1 jul. 2026.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo e aos professores Matheus Mascarenhas e Cesar Mattana de Oliveira pela infraestrutura disponibilizada e pelo incentivo à pesquisa.